Cola

Dieses Modul umfasst 50% der schriftlichen Abiturprüfung.

Aufgaben

Cola ist ein koffein- und kohlensäurehaltiges Erfrischungsgetränk. Die Hauptinhaltsstoffe von Cola sind neben Wasser, Koffein und Phosphorsäure große Mengen an Zucker. Für den typischen Geschmack der heutigen Cola sind neben der Kolanuss die Zutaten Vanille, Zimtöl, Nelkenöl und Zitrone verantwortlich. Light-Produkte wie Cola Light oder Cola Zero enthalten anstelle von Zucker u.a. Aspartam.

1 Phosphorsäure wird in Cola als Säuerungsmittel verwendet, mit der die Süße des Zuckers überdeckt und ein erfrischender Effekt erreicht werden soll.

1.1 Phosphorsäure H_3PO_4 ist eine dreiprotonige Säure. Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die drei Protolysestufen der Phosphorsäure in Wasser.

(3 BE)

1.2 Laborpraktische Aufgabe: Bestimmung der Massenkonzentration an Phosphorsäure $\beta(H_3PO_4)$ in Cola durch Titration mit Natronlauge und Aufnahme einer Titrationskurve.
Die Gehaltsbestimmung an Phosphorsäure kann in diesem Fall nicht durch eine einfache Säure-Base-Titration mit einem Indikator erfolgen, da man aufgrund der gefärbten Cola den Umschlag des Indikators nicht erkennen kann. Aus diesem Grund wird mithilfe eines pH-Meters eine Titrationskurve aufgenommen.

1.2.1 Führen Sie die Gehaltsbestimmung nach der gegebenen Arbeitsvorschrift durch (Material 1).

(8 BE)

1.2.2 Zeichnen Sie mit den experimentell ermittelten Daten eine Titrationskurve auf Millimeterpapier. Bestimmen Sie den Äquivalenzpunkt graphisch z.B. nach der Rechteckmethode und berechnen Sie die Massenkonzentration von Phosphorsäure $\beta(H_3PO_4)$ in der Cola.

(8 BE)

1.2.3 Berechnen Sie den pH-Wert der untersuchten Cola.

Hinweis: Beachten Sie dabei nur die erste Protolysestufe der Phosphorsäure.
pK_{S1} der Phosphorsäure: 2,16.
Wenn Sie bei 1.2.2 zu keinem Ergebnis gekommen sind, gehen Sie von einer Massenkonzentration von $\beta(H_3PO_4) = 500\,mg/L$ aus.

(3 BE)

2 Brennwert von Cola

Der Energieinhalt von Lebensmitteln wird durch den sogenannten Brennwert angegeben. Dieser ist ein Maß für die in einem Stoff enthaltene chemisch gebundene Energie. Er ist identisch mit dem Betrag der Standardverbrennungsenthalpie $\Delta_C H^0$, hat jedoch ein positives Vorzeichen. Die Angabe wird mit einem sogenannten Bombenkalorimeter überprüft (Material 3).

2.1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Verbrennungsreaktion des in Cola vorhandenen Zuckers (Saccharose, $C_{12}H_{22}O_{11}$).

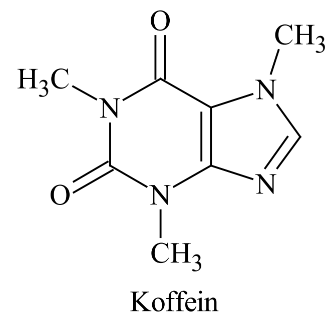
(2 BE)

2.2 Prüfen Sie mithilfe von Material 3, ob der Brennwert auf dem Etikett der Cola-Flasche (Material 2) korrekt angegeben ist.

(4 BE)

3 Bestimmung des Koffeingehalts von Cola

Empfindliche Menschen sollten abends keine koffeinhaltigen Getränke wie Kaffee, Tee oder Cola trinken, denn Koffein hemmt den Parasympathikus, der für Erholung und geregelte Verdauung sorgt.



Koffein

3.1 Zur Bestimmung des Koffeingehalts wird das Koffein aus der Cola zunächst mittels Scheidetrichter extrahiert. Als Extraktionsmittel stehen Ethanol, Dichlormethan und Hexan zur Verfügung.

Nennen Sie das Extraktionsmittel, das für die Extraktion am besten geeignet ist, und begründen Sie Ihre Nennung.

(4 BE)

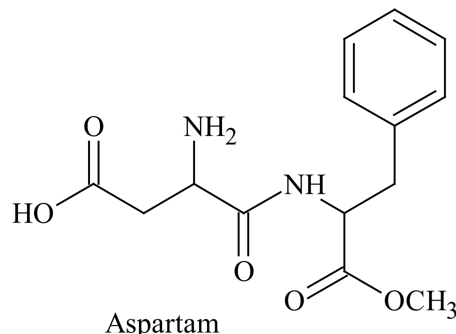
3.2 10 mL Cola werden in einen Scheidetrichter gegeben und dreimal mit 10 mL des geeigneten Lösungsmittels ausgeschüttelt. Die gesammelten Extrakte werden in einen 50 mL Messkolben überführt und mit dem Lösungsmittel aufgefüllt. Von der Lösung wird ein Absorptionsspektrum aufgenommen (Material 4).

Bestimmen Sie mit den Angaben in Material 4 die Massenkonzentration von Koffein, β(Koffein) in der untersuchten Cola (M(Koffein) = 194,2 g/mol).

(4 BE)

4 Aspartam

In Cola-Light wird Aspartam als Süßstoff verwendet. Aspartam ist ein synthetischer Süßstoff, der sich von den Aminosäuren Asparaginsäure und Phenylalanin ableitet.



Aspartam

4.1 Synthese von Aspartam

Ausgangsstoff der chemischen Synthese ist Asparaginsäure, die in Anwesenheit von Phosphoroxychlorid ($POCl_3$) in ein cyclisches Carbonsäureanhydrid überführt wird. Dessen Umsetzung mit Phenylalaninmethylester liefert dann Aspartam (Material 5).
Entwickeln Sie die Reaktionsmechanismen für die beiden Synthesestufen.

Hinweis: Das $POCl_3$ dient zur Entfernung des Wassers aus dem Gleichgewicht. Es nimmt an der eigentlichen Reaktion nicht teil.

(7 BE)

4.2 Berechnen Sie die Ausbeute der Synthese, wenn bei Einsatz von 500,0 g Asparaginsäure (M = 133,1 g/mol) 750,0 g Aspartam (M = 294,3 g/mol) erhalten werden.

(4 BE)

4.3 Die gesundheitlichen Folgen des Konsums von Aspartam sind umstritten. Für Aspartam wurde ein sogenannter ADI-Wert (acceptible daily intake) von 40 mg/kg pro Tag festgelegt[1]. Der ADI-Wert gibt die Menge eines Stoffes an, die über die gesamte Lebenszeit täglich zu sich genommen werden kann, ohne dass dadurch gesundheitliche Gefahren entstehen.
Berechnen Sie die Anzahl an Cola-Dosen, deren Inhalt ein 75 kg schwerer Mann maximal pro Tag trinken kann, ohne den ADI-Wert zu überschreiten. Eine Dose Cola enthält 200 mg Aspartam.

[1]https://www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/aspartame, (abgerufen am 21.12.2020).

(3 BE)

Material 1

Titration einer Cola-Probe mit Natronlauge und Aufnahme einer Titrationskurve

Geräte
Bechergläser (100 mL, 250 mL)
Vollpipette (100 mL)
Bürette (50 mL)
Trichter
pH Meter (pH-Elektrode und Potentiometer)
Magnetrührer mit Rührfisch

Chemikalien
Natronlauge-Maßlösung (c = 0,10 mol/L)

Sicherheitsdaten
Beachten Sie vor dem Umgang mit den Chemikalien die ausliegenden HessGISS-Datenblätter.

Durchführung
Pipettieren Sie 100 mL der Cola-Probe in ein 250 mL-Becherglas. Platzieren Sie das Becherglas auf einen Magnetrührer. Geben Sie einen Rührfisch hinzu. Befestigen Sie die pH-Elektrode mithilfe des Stativmaterials, so dass sie ausreichend tief in die Probelösung eintaucht, aber vom sich drehenden Rührfisch nicht berührt werden kann. Geben Sie gegebenenfalls etwas E-Wasser hinzu. Messen Sie den pH-Wert der Lösung. Füllen Sie die Bürette etwa zur Hälfte mit der Natronlauge-Maßlösung. Geben Sie nun in Schritten von 1,0 mL Natronlauge-Maßlösung zu und notieren Sie jeweils den pH-Wert. Beenden Sie die Titration, wenn ein pH-Wert von ca. 7 erreicht ist.

Entsorgung

Alle Lösungen können im Ausguss entsorgt werden.

Material 2

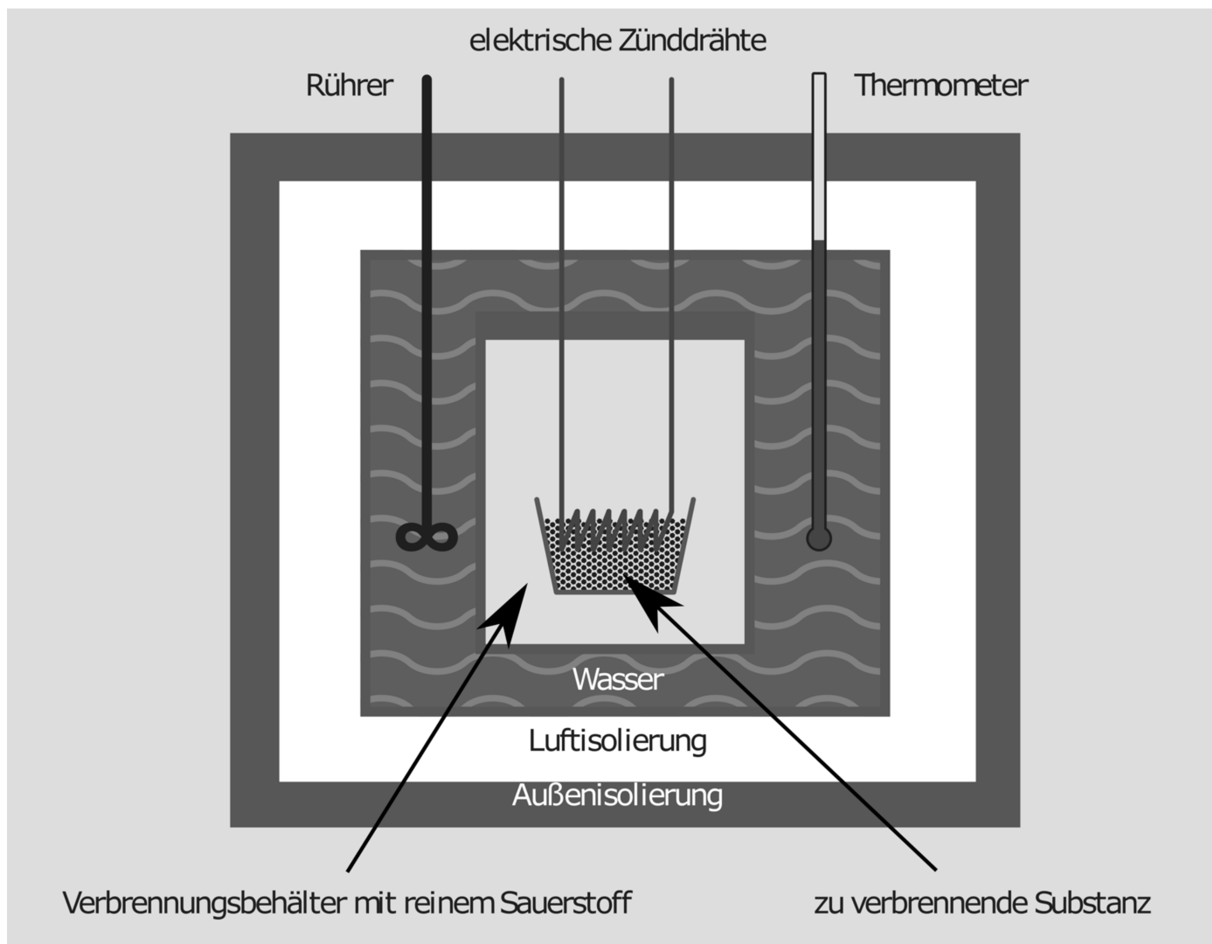
Etikett einer Cola Flasche

https://www.chemie.schule/WP/wp07-coca-cola/wp07-fol/fol_cola_classic.htm (abgerufen am 02.05.2020).

Material 3

Bestimmung des Brennwerts von Cola

Für die Bestimmung des Energiegehalts von Lebensmitteln werden sogenannte Bombenkalorimeter verwendet. In dem dargestellten Bombenkalorimeter wird eine definierte Menge des zu untersuchenden Lebensmittels unter Sauerstoffüberdruck vollständig verbrannt.

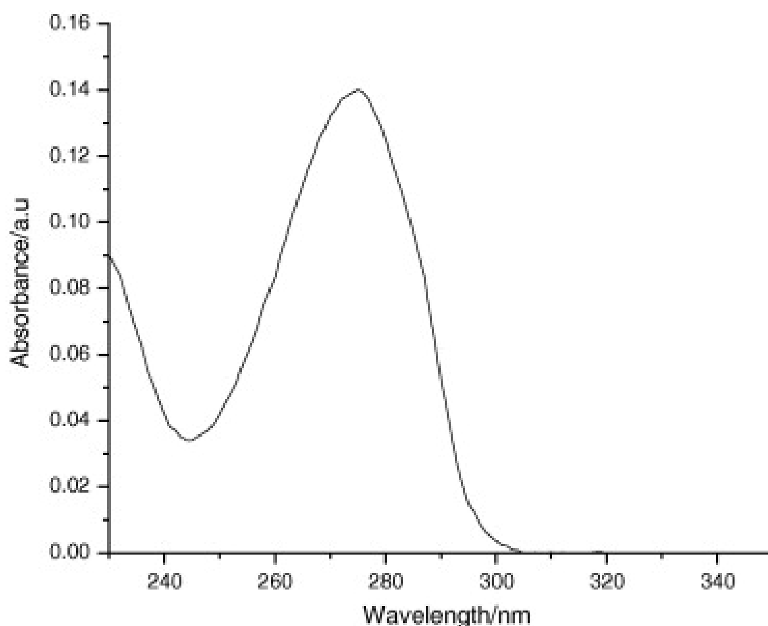


https://www.mri.bund.de/fileadmin/MRI/Verbrauchermedien/MRI-Flyer-Energie-LM-IGW15-8s-web.pdf, (abgerufen am 21.02.2020).

Durchführung:
100 mL der Cola-Probe werden durch Erhitzen auf 20 mL eingeengt. Davon werden 2 mL in das Bombenkalorimeter überführt und verbrannt. Das Bombenkalorimeter ist mit 500 mL Wasser ($\rho(H_2O) = 1 g/mL$) gefüllt. Nach dem Verbrennen der Probe hat sich die Temperatur des Wassers um 8,8 K erhöht. Die Wärmekapazität des Kalorimeters wird hier vernachlässigt.

Material 4

UV-Spektrum von Koffein



https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0308814607010308-gr9.jpg (abgerufen am 29.04.2020).

Hinweis: Der Logarithmus des molaren dekadischen Extinktionskoeffizienten von Koffein beim Absorptionsmaximum beträgt lg (ε) = 3,70. Die Schichtdicke der Küvette beträgt 1 cm.

Material 5

Synthese von Aspartam

